Commission géologique
du Canada

Recherches en cours
2001-D7

Résultats initiaux d'une partie des travaux de caractérisation hydrogéologique des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec

N. Fagnan, M. Nastev, R. Lefebvre, R. Martel et M. Savard

2001

Ressources naturelles Canada
Natural Resources Canada

Canada

©Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2001
N° de catalogue M44-2001/D7F
ISBN 0-660-96480-5

En vente à partir du site Web de la Librairie de la
Commission géologique du Canada, à l'adresse
http://www.rncan.gc.ca/cgc/bookstore (sans frais : 1-888-252-4301)

Les bibliothèques de dépôt d'un bout à l'autre du pays ont accès à la présente publication par l'intermédiaire du site Web du Programme des services de dépôt (http://dsp-psd.tpsgc.gc.ca).

Prix sujet à changement sans préavis

Les demandes de permission pour reproduire cet article, en tout ou en partie, à des fins d'utilisation commerciale, de revente ou de redistribution doivent être adressées à la Division de l'information du Secteur des sciences de la Terre, pièce 200, 601, rue Booth, Ottawa (Ontario) K1A 0E8.

Addresses des auteurs

N. Fagnan *(nfagnan@nrcan.gc.ca)*
M. Nastev *(mnastev@nrcan.gc.ca)*
M. Savard *(msavard@nrcan.gc.ca)*
CGC Québec, Québec
880, chemin Sainte-Foy, C.P. 7500,
Sainte-Foy, Québec G1V 4C7

R. Lefebvre *(ess-inrs-rlefebvre@x1.nrcan.gc.ca)*
R. Martel *(ess-inrs-rmartel@x1.nrcan.gc.ca)*
INRS Géoressources
Centre géoscientifique de Québec
880, chemin Sainte-Foy, C.P. 7500
Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7

101-03631/

Résultats initiaux d'une partie des travaux de caractérisation hydrogéologique des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec

N. Fagnan, M. Nastev, R. Lefebvre, R. Martel et M. Savard
CGC Québec, Québec

Fagnan, N., Nastev, M., Lefebvre, R., Martel, R. et Savard, M., 2001 : Résultats initiaux d'une partie des travaux de caractérisation hydrogéologique des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec; Commission géologique du Canada, Recherches en cours 2001-D7, 9 p.

Résumé : Le présent article fait état des résultats des travaux de terrain des étés de 1999 et 2000 entrepris dans le cadre du projet de cartographie des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec de la Commission géologique du Canada. La région à l'étude comporte une séquence de roches sédimentaires paléozoïques que surmontent des dépôts quaternaires. Les dépôts meubles recouvrent le socle rocheux et forment d'importantes accumulations autour des collines d'Oka et le long de la terrasse dans les secteurs de Saint-Hermas et de Lachute. Des levés piézométriques ont donné lieu à une carte piézométrique régionale qui indique que la surface piézométrique suit la topographie de près. L'ensemble des travaux effectués a permis d'établir le contexte hydrogéologique régional. Des conditions de nappes artésiennes prévalent dans les secteurs à fortes épaisseurs de dépôts. Des zones de nappes libres se trouvent dans les secteurs à faibles épaisseurs de dépôts et s'avèrent des zones de recharge des aquifères fracturés.

Abstract: This report presents part of the preliminary results of the 1999–2000 fieldwork undertaken within the framework of a hydrogeological fractured-rock mapping project led by the Geological Survey of Canada. The study area consists of a sequence of Paleozoic sedimentary rocks overlain by Quaternary sediments. The sediments form thick accumulations in the vicinity of the Oka Hills and along the terrace in the Saint-Hermas and Lachute sectors. A piezometric survey carried out to produce a regional groundwater elevation map revealed that the piezometric surface closely follows the surface topography. A regional hydrogeological map was developed. Confined conditions are found within areas of thick Quaternary deposits. Unconfined conditions are found in areas of thin deposits; these areas constitute the main recharge zones of fractured-rock aquifers.

INTRODUCTION

La présente étude s'inscrit dans le cadre d'un projet pilote de cartographie hydrogéologique des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec (AFSOQ) dans les municipalités régionales des comtés (MRC) d'Argenteuil, de Mirabel, de Deux-Montagnes et de Thérèse-De Blainville (fig. 1). L'étude a pour but de caractériser, à l'échelle régionale, les ressources en eaux souterraines quant à leur qualité, leur quantité et leur écoulement. Elle a également pour objectif d'établir une méthode de caractérisation, à l'échelle régionale, des aquifères en milieux fracturés. Pour atteindre ces objectifs, une campagne de caractérisation hydrogéologique a été entreprise durant les étés de 1999 et de 2000 (Savard et al., 2000). Les travaux de terrain ont comporté la caractérisation des fractures de forages et l'aménagement de piézomètres, des levés géophysiques, des mesures de niveaux d'eau, l'échantillonnage composite et multiniveau, des essais Lugeon et des essais de pompage. Ils ont permis d'acquérir une meilleure connaissance de l'aquifère régional. Le présent article fait état des résultats préliminaires des travaux de caractérisation de la profondeur jusqu'au socle rocheux et de l'écoulement des eaux souterraines de même que du suivi mensuel et quotidien des niveaux piézométriques des nappes.

CONTEXTE GÉOLOGIQUE

La région à l'étude est située sur la rive nord des rivières des Outaouais et des Mille Îles, et au sud de la rivière du Nord. Elle est limitée, au nord-ouest, par le Bouclier canadien et à l'est, par le bassin versant de la rivière Mascouche. Ce territoire, qui comprend les MRC de Mirabel, de Deux-Montagnes et de Thérèse-De Blainville, ainsi qu'une partie de la MRC d'Argenteuil, occupe la région physiographique de la vallée du Saint-Laurent, qui est caractérisée par un relief plat à ondulé. Outre les Laurentides qui forment la limite nord et nord-ouest de la région, les collines d'Oka et de Saint-André sont les seuls éléments physiographiques dans le secteur à l'étude qui présentent un relief important (fig. 1).

Les figures 2 et 3 montrent respectivement la géologie du socle rocheux, mise à jour par de récents travaux dans le cadre de ce projet (Rocher et al., 2000), et la géologie simplifiée des dépôts de surface (Bolduc et Ross, 2000). Le socle est constitué de roches sédimentaires (grès, dolomie, calcaire et argilite) paléozoïques des basses terres du Saint-Laurent qui reposent en discordance sur les roches ignées et métamorphiques précambriennes de la Province géologique de Grenville. Les roches ignées et métamorphiques affleurent au delà de la limite nord du secteur à l'étude ainsi qu'au sud de celui-ci, sous la forme de collines (Oka et Saint-André). Contrairement aux fenêtres de roches ignées qui sont en règle

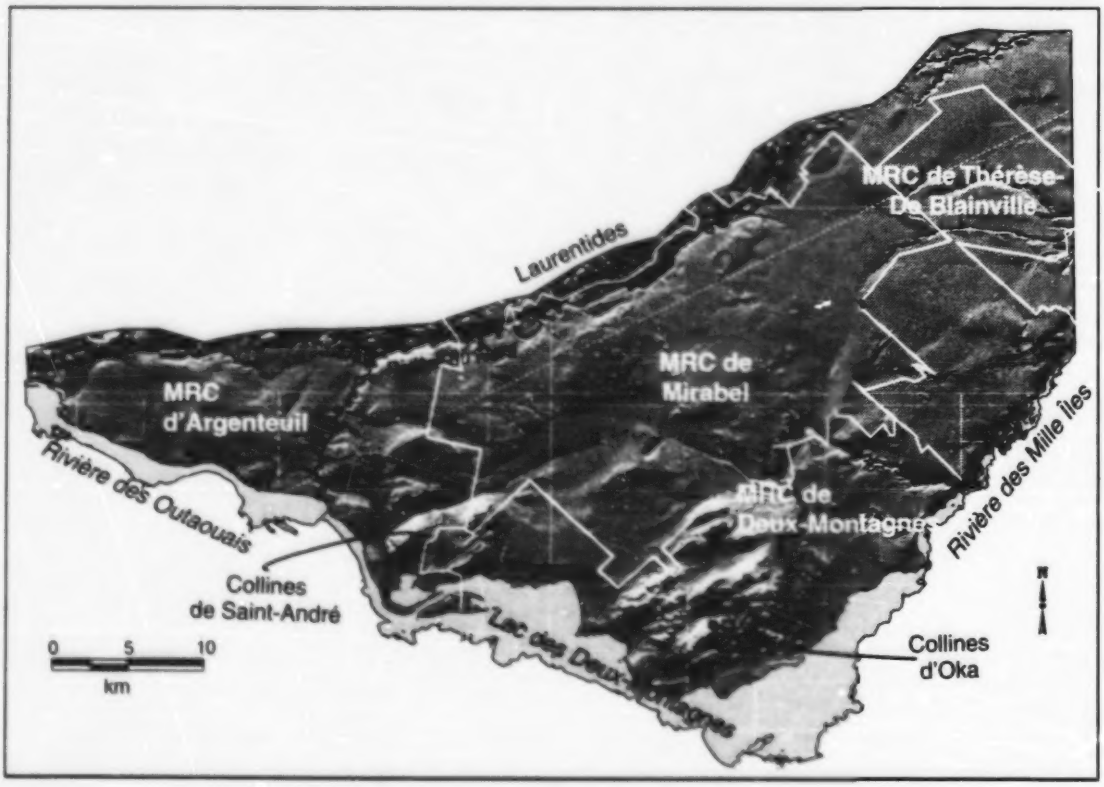

Figure 1. *Localisation et physiographie de la région à l'étude.*

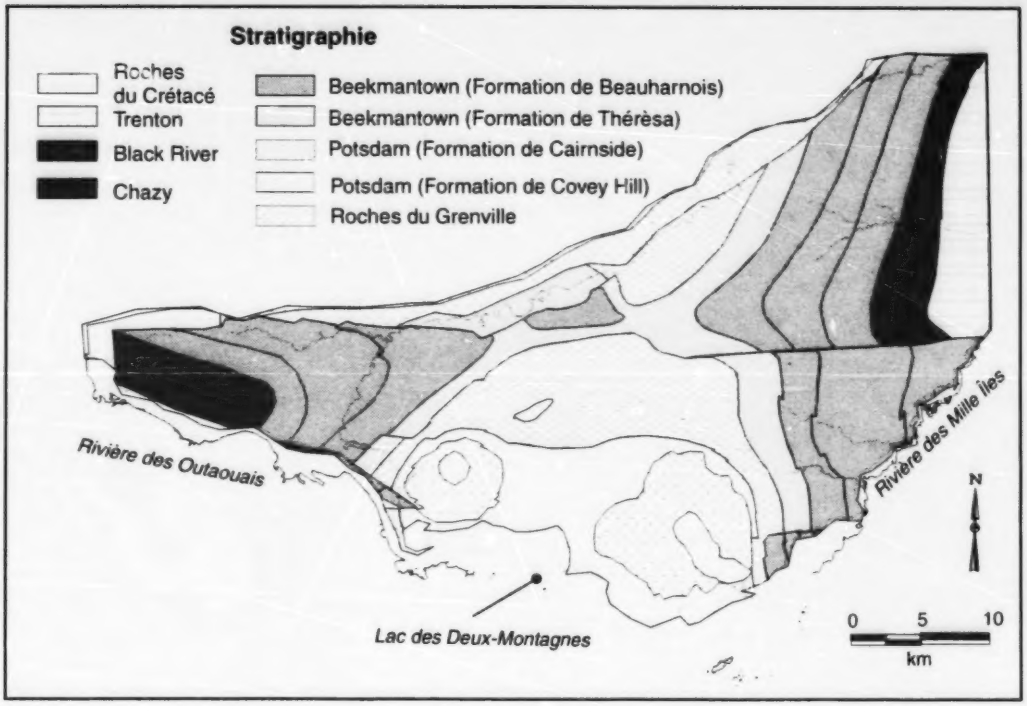

Figure 2. *Géologie révisée du socle rocheux (Rocher et al., 2000).*

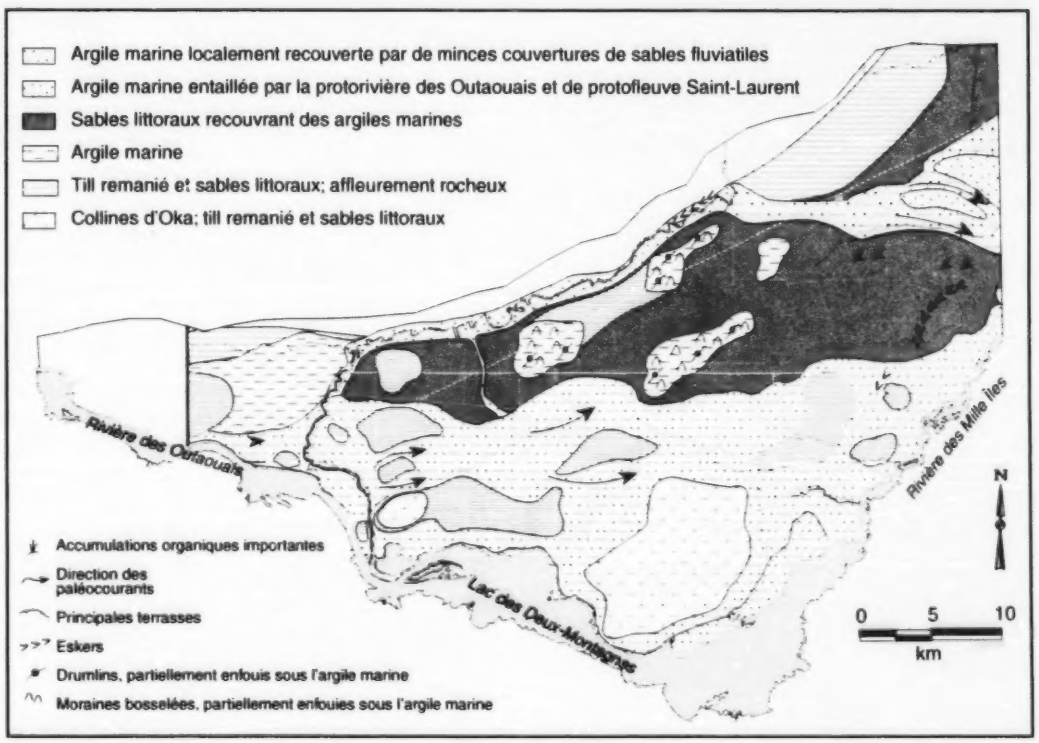

Figure 3. *Géologie préliminaire des dépôts superficiels (Bolduc et Ross, 2000).*

générale dénudées, la séquence de roches sédimentaires est généralement recouverte en discordance par des sédiments marins et glaciaires d'âge quaternaire. Depuis les rivières des Outaouais et des Mille Îles jusqu'à la bordure des Laurentides, la couverture de dépôts quaternaires est relativement épaisse (environ 15 m) et est composée principalement d'argiles marines de la Mer de Champlain. Ces importantes accumulations de dépôts quaternaires coïncident avec les principales vallées de la région. Les collines d'Oka et de Saint-André ainsi que les secteurs topographiques plus élevés de la région sont recouverts d'une certaine épaisseur de sédiments (communément moins de 5 m), généralement du till.

PROFONDEUR JUSQU'AU SOCLE ROCHEUX

Parmi les premiers travaux de cartographie hydrogéologique, on compte l'évaluation de la profondeur jusqu'au socle rocheux (épaisseur totale de sédiments). Cette information est d'une grande pertinence dans le cadre d'études hydrogéologiques régionales puisqu'elle permet d'identifier l'emplacement probable des vallées enfouies. Ces vallées peuvent contenir d'importants aquifères granulaires ou rocheux et, dans le cas où elles sont recouvertes d'argile en surface, on peut conclure à des conditions de nappes captives ou semi-captives. Les cartes de la profondeur jusqu'au socle rocheux permettent aussi d'identifier les secteurs où il n'y a pas d'accumulation significative de sédiments. Ces secteurs constituent souvent les zones de recharge des aquifères captifs.

Des données de forages et de levés géologiques ont été utilisées pour la réalisation de la carte de la profondeur jusqu'au socle rocheux. Le système d'information hydrogéologique du ministère de l'Environnement du Québec (MENVQ) a fourni les principales données de forages. Les informations contenues dans cette base de données proviennent en grande partie, mais non uniquement, de forages effectués par des puisatiers. Les données sur les forages effectués dans le cadre de ce projet y ont également été intégrées. Les cartes géologiques du socle rocheux, sur lesquelles sont identifiées les affleurements, et les cartes des dépôts de surface, où sont distinguées les zones d'affleurements rocheux ou de till mince sur le socle rocheux, ont également été utilisées (Globensky, 1982, 1987; Richard, 1982, 1984).

On a utilisé 3 654 données de forages pour produire la carte de la profondeur jusqu'au socle rocheux et on a ajouté 420 points de contrôle additionnels pour tenir compte de la présence d'unités de till mince sur le socle et d'unités de socle affleurant identifiées sur les cartes des dépôts de surface (Richard, 1982, 1984) et sur la carte du socle rocheux (Globensky, 1982, 1987). Des valeurs de 0 m d'épaisseur, dans le cas des affleurements, et de 0,75 m d'épaisseur, dans le cas des zones de till mince sur le socle rocheux, ont été attribuées à ces points de contrôle. Cet ensemble de données a été interpolé par krigeage universel.

La carte de la profondeur jusqu'au socle rocheux produite par interpolation est présentée à la figure 4. Les zones d'accumulations importantes sont situées surtout autour des collines d'Oka et le long de la terrasse actuelle qui passe par

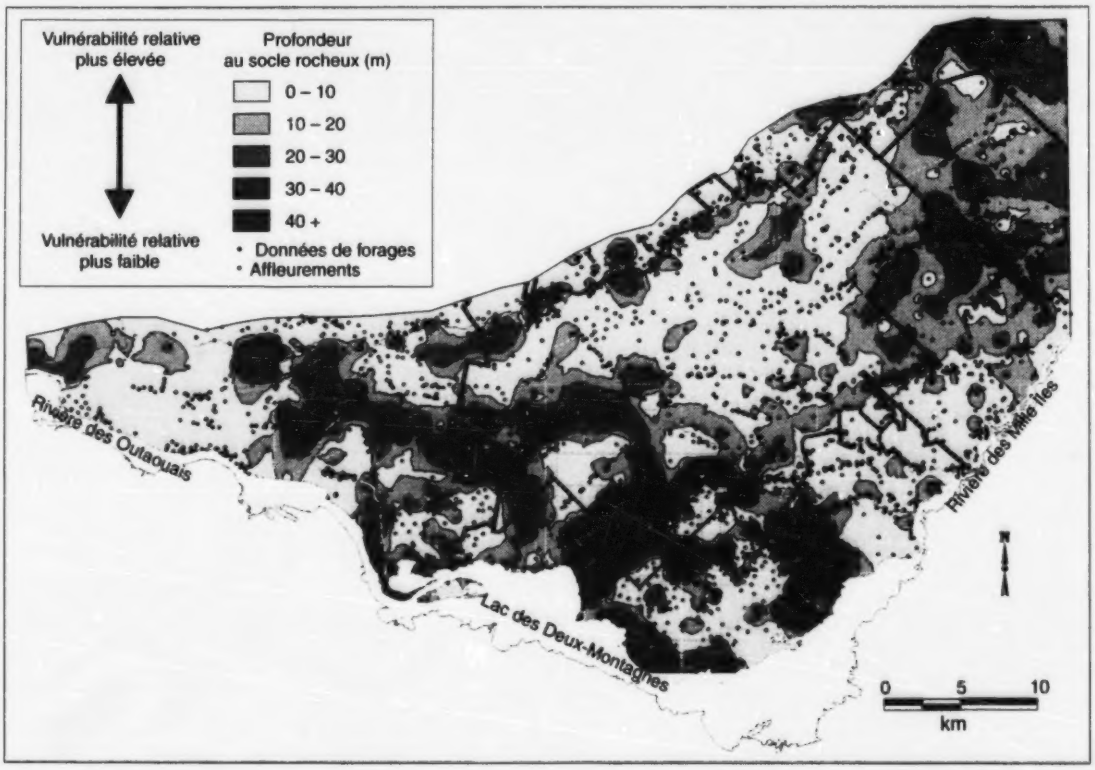

Figure 4. *Distribution de la profondeur jusqu'au socle rocheux dans la région à l'étude.*

les secteurs de Saint-Hermas et de Lachute. Le maximum des valeurs d'épaisseur de sédiments se chiffre à 102 m, la médiane, à 10 m et la moyenne, à 15 m.

Les zones d'accumulation importante de dépôts peuvent être considérées comme des secteurs offrant une meilleure protection des nappes aquifères, alors que les secteurs où la couverture de sédiments est plus mince peuvent l'être comme naturellement plus vulnérables à l'infiltration des contaminants. Cette hypothèse est valable à l'échelle régionale puisque le type de dépôts couvrant l'ensemble du territoire étudié est constitué majoritairement d'argile, matériau très peu perméable. Ce contexte particulier permet d'utiliser le paramètre de la profondeur jusqu'au socle rocheux pour l'identification préliminaire des zones vulnérables à la contamination.

PIÉZOMÉTRIE ET ÉCOULEMENT

L'établissement de la piézométrie d'une région constitue le cœur de tout projet de cartographie hydrogéologique régionale. Cette information permet d'établir les directions régionales d'écoulement des eaux souterraines, d'identifier les zones de recharge et d'émergence et d'établir les limites des bassins hydrogéologiques. La connaissance des directions d'écoulement est essentielle pour l'établissement d'un modèle hydrogéologique conceptuel. Les travaux de terrain ont, par conséquent, débuté par un levé piézométrique de la région à l'étude.

Le levé piézométrique a été effectuée principalement durant la période d'étiage de l'été 1999 et a été complété durant l'étiage de l'été 2000. Il a permis de mesurer, à l'aide de sondes à niveau d'eau et de données d'altitude provenant des cartes topographiques à l'échelle de 1/50 000, l'altitude

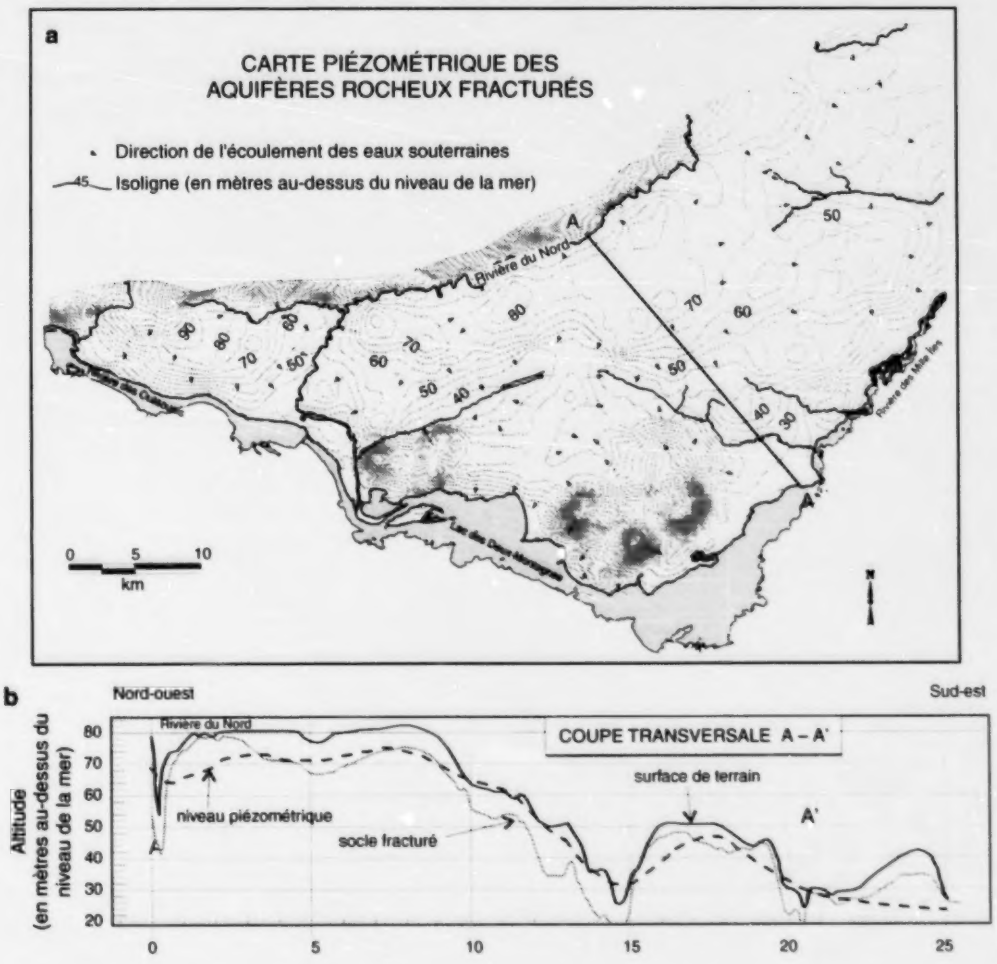

***Figure 5. a)** Piézométrie et écoulement des eaux souterraines dans les aquifères fracturés. **b)** Coupe transversale A-A' nord-ouest–sud-est montrée en a).*

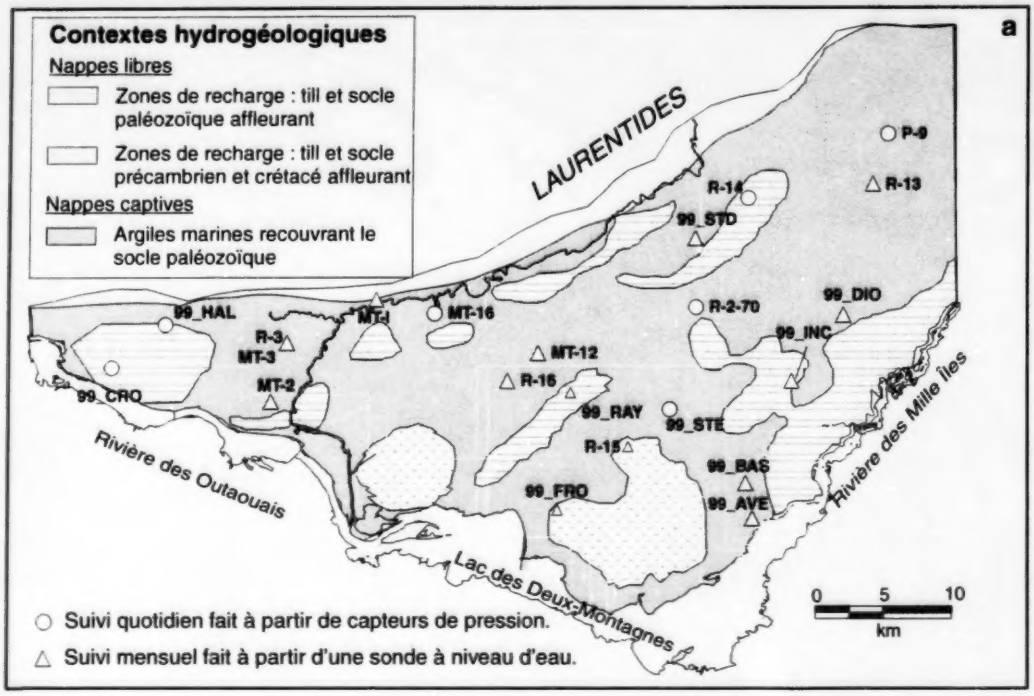

Figure 6. a) *Localisation des puits utilisés pour le suivi du niveau de la nappe et contextes hydrogéologiques simplifiés de la région à l'étude.*

de la surface piézométrique en 574 points. Ces mesures du niveau d'eau ont été prises principalement dans des puits résidentiels d'eau potable (puits tubulaires de 15.24 cm de diamètre), mais également dans des puits d'observation appartenant au MENVQ, à des stations piézométriques aménagées pour des études locales et à partir de sondages que nous avons réalisés. Cent soixante-et-onze données de niveaux d'eau provenant principalement du système d'information hydrogéologique ont été intégrés aux données de terrain afin de couvrir les secteurs où il a été impossible de prendre des mesures. Finalement, 226 points de contrôle ont été ajoutés dans les secteurs où il manquait des données, notamment le long des cours d'eau et dans les secteurs inhabités ou à relief important. Ces points de contrôle additionnels visaient à mieux refléter le contexte piézométrique observé sur le terrain et à faciliter l'interpolation des données. Aux endroits où les cours d'eau sont reliés hydrauliquement aux formations rocheuses, les valeurs d'altitude du terrain ont été attribuées aux points ajoutés. Une évaluation de l'altitude de la surface piézométrique a été faite aux endroits où les cours d'eau s'écoulent sur l'aquitard régional.

L'ensemble final de données comprenant 865 valeurs d'altitude de la surface piézométrique a été interpolé par krigeage universel. La carte résultante montre l'altitude de la surface piézométrique à l'aide d'isolignes à des intervalles de 5 m qui s'échelonnent du niveau de la rivière des Outaouais (20–40 m) jusqu'à 175 m d'altitude (fig. 5a). La similitude des gradients de la surface piézométrique et des gradients topographiques indique que la topographie régionale influe sur l'écoulement des eaux souterraines.

La figure 5b est une coupe transversale montrant la nappe et les surfaces du sol et du socle rocheux. Le tracé de la surface du sol provient du modèle numérique de terrain qui a été construit à partir des courbes de niveaux et des points cotés inscrits sur les cartes numériques à l'échelle de 1/50 000. Les tracés du niveau des surfaces piézométriques et du socle rocheux proviennent de l'interpolation des données d'altitude de la surface de la nappe et des données de la profondeur jusqu'au socle rocheux. Pour les surfaces, on estime que la précision des valeurs d'altitude est de ±5 m. Cela signifie que des erreurs combinées peuvent produire des écarts maximaux de 10 m entre les surfaces. À titre d'exemple, la surface piézométrique interpolée peut, en certains endroits, être plus élevée en altitude absolue que la surface interpolée du terrain (modèle numérique de terrain), bien qu'on n'ait pas observé de conditions artésiennes sur le terrain. Bien qu'ils soient rares, étant donné la densité des données utilisées, ces écarts devront toutefois être identifiés et corrigés sur la carte piézométrique.

Les gradients hydrauliques le long de la coupe A-A' varient de 0,25 m/km dans les secteurs à topographie peu accidentée à 6,2 m/km dans les secteurs à relief plus accentué. La figure 5b révèle également l'existence de conditions artésiennes le long des pentes et des terrasses ainsi qu'au

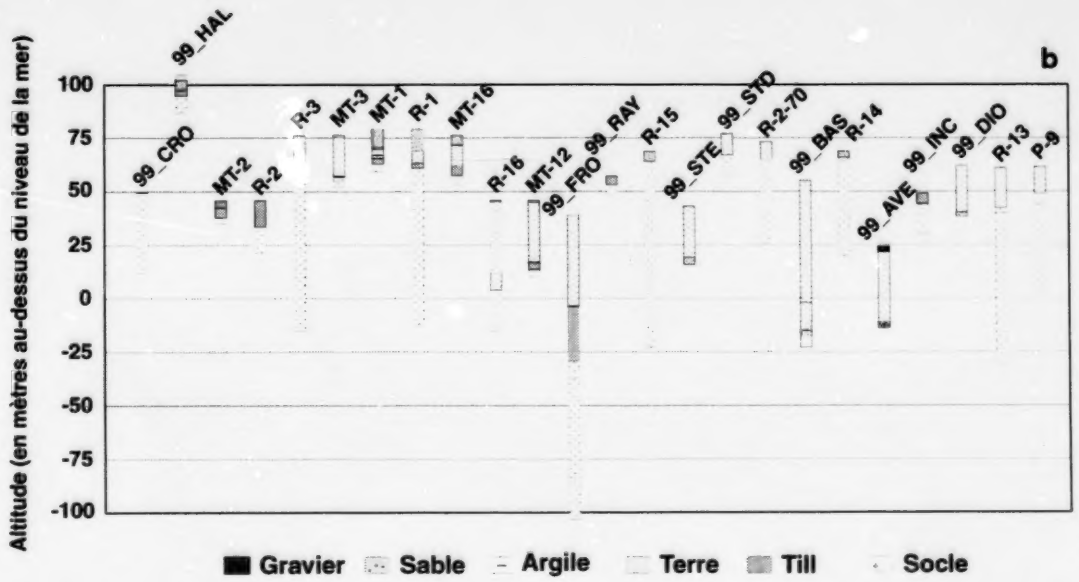

Figure 6. *b) Stratigraphie et altitude aux sites des puits. Tous les puits qui ont atteint le socle rocheux sont munis d'un tubage métallique dans les quelques premiers mètres du socle.*

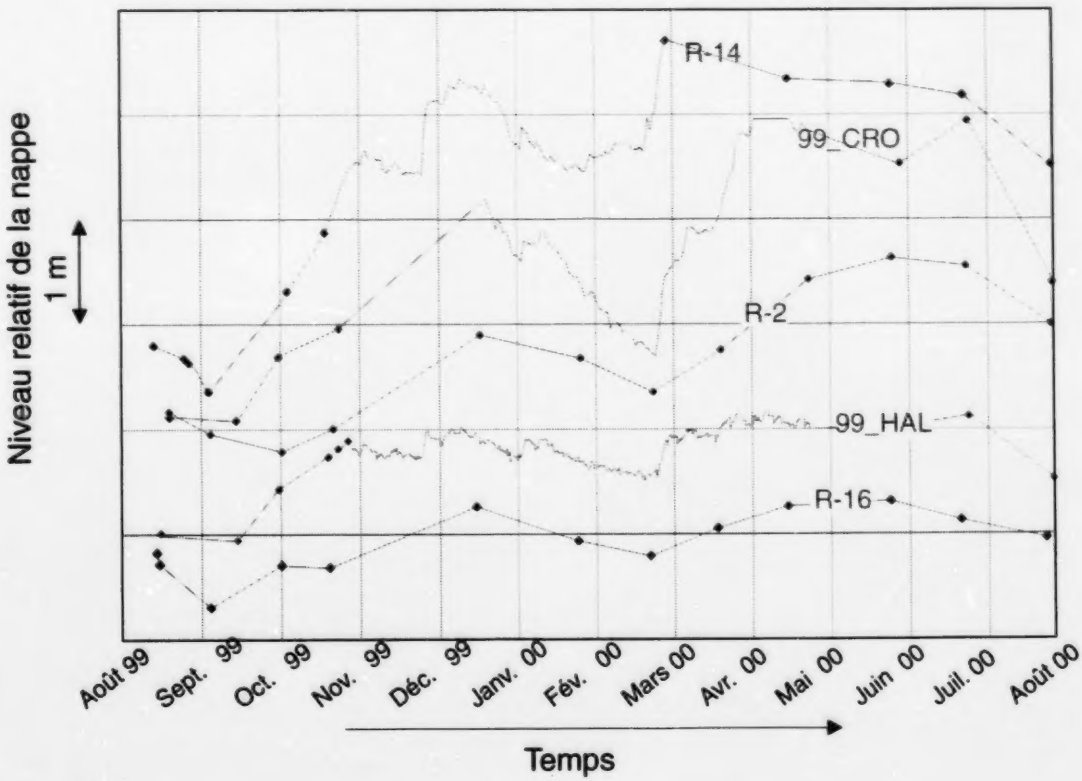

Figure 7. *Hydrogrammes de puits dans les formations de socle fracturé couvrant la période d'août 1999 à août 2000.*

niveau des vallées en surface. Dans les secteurs de pentes où le socle rocheux est presque affleurant, les eaux souterraines émergent sous la forme de sources. Dans les secteurs des vallées qui présentent des conditions artésiennes, le niveau des eaux souterraines varie de 0 à 1,5 m au-dessus de la surface du sol. Notons qu'une grande partie des vallées de la région à l'étude sont comblées par une importante couverture d'argile et de silt marins. Les puits résidentiels situés dans les secteurs qui présentent des conditions artésiennes sont généralement munis de systèmes de drainage permettant d'évacuer les surplus d'eau vers les fossés routiers ou agricoles avoisinants.

CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

Les différents travaux de caractérisation hydrogéologique ont permis de dresser un portrait global du contexte hydrogéologique du secteur à l'étude (fig. 6a). Les séquences d'argile et de silt marins forment l'aquitard régional. Des conditions de nappes captives dans les aquifères rocheux et granulaires sous-jacents y règnent. La nappe en milieu fracturé dans ces secteurs est parfois artésienne. La recharge des aquifères rocheux proviendrait des hauteurs topographiques, qui sont caractérisées par une mince couverture de till sur des roches sédimentaires paléozoïques. Les hydrogrammes (fig. 7) de puits situés dans ces secteurs indiquent des conditions de nappe libre.

PROGRAMME DE SUIVI DU NIVEAU DES AQUIFÈRES

Un programme de suivi du niveau piézométrique des aquifères fracturés a été mis en œuvre, ce qui permettra, dans un premier temps, d'avoir une meilleure connaissance du comportement annuel des nappes captives et des nappes libres dans ces milieux. Ces données vont également servir à l'évaluation de la recharge dans les zones d'infiltration où règnent des conditions de nappes libres, et dans les zones captives par l'intermédiaire de la modélisation numérique. On a choisi 21 puits tubulaires dont la plupart atteignent le socle rocheux pour faire le suivi piézométrique. La figure 6 montre la répartition géographique ainsi que la stratigraphie et l'altitude de ces puits. Des capteurs de pression munis d'enregistreurs ont été installés dans sept puits. Des mesures ont été effectuées mensuellement, à la main, au moyen d'une sonde à niveau d'eau, dans les autres puits.

Une partie des résultats du suivi est présenté à la figure 7. Les hydrogrammes de puits qui y sont présentés illustrent bien le comportement des nappes en fonction des différents contextes hydrogéologiques identifiés.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

La carte piézométrique présente bien le contexte régional de l'écoulement des eaux souterraines dans les milieux fracturés. Cette carte est utile dans une perspective régionale mais ne remplace pas les levés piézométriques détaillés requis dans le cadre d'évaluations locales. Une carte présentant les zones artésiennes captives et libres pourra éventuellement être dérivée de cette carte piézométrique. D'autres cartes thématiques, telles que celles des vitesses d'écoulement et des gradients hydrauliques, pourront également être construites à partir de la piézométrie régionale.

Une meilleur définition de la distribution spatiale de la profondeur jusqu'au socle rocheux (épaisseur des dépôts) dans la région à l'étude pourrait être obtenue en intégrant les données des forages qui n'ont pas atteint le socle rocheux. Le but de cet exercice serait de raffiner davantage la carte en utilisant des données de profondeur minimale jusqu'au socle rocheux aux endroits où il manque des données et aux endroits où les données de profondeur minimale jusqu'au socle rocheux changeraient nettement l'image de la carte. En effet, certains de ces forages ont traversé des épaisseurs significatives de sédiments et le fait d'en tenir compte peut améliorer la carte. À titre d'exemple, certaines données de forages indiquent des épaisseurs de sédiments de plus de 70 m à des endroits où les courbes issues de la première interpolation indiquent des épaisseurs de 50 m. Dans de tels cas, le fait de tenir compte des données d'épaisseur minimale augmenterait grandement la validité de la carte.

REMERCIEMENTS

Le projet est financié par la CGC Québec, Développement économique Canada, le Conseil régional de développement-Laurentides, le ministère de l'Environnement du Québec, les municipalités régionales de comté d'Argenteuil, de Deux-Montagnes, de Mirabel et de Thérèse-De Blainville et l'Association des professionnels de développement économique des Laurentides. Une partie des travaux de forage a été financée par le ministère des Transports du Québec. Les auteurs remercient John Voralec, Jacques Roussin, Guillaume Descamps, Eric Granger, Marjolaine Bessette et Caroline Meilhac pour leurs tavaux minutieux, et C. Beaudry, A. Boutin, J. Defoy, A. Hamel, G. Karanta, P. Lussier-Duquette, M. Fleury, V. Maltais, V. Murat, D. Paradis, et T. Thériault pour leur aide technique. Nos sincères remerciements vont à Jean-Luc Riopel, à Marc Carrière, à Carole Hart et à Guy Raynault pour leur appui constant. Nos remerciements vont aussi à Alfonso Rivera pour ses commentaires suivant la lecture du manuscrit. Finalement, nous remercions la population et les autorités municipales des MRC d'Argenteuil, de Mirabel, de Deux-Montagnes et de Thérèse-De Blainville, pour leur collaboration et leur intérêt.

RÉFÉRENCES

Bolduc, A.M. et Ross, M.
2000: La géologie et la géomorphologie quaternaire des basses Laurentides (ouest de Montréal); Livret-guide d'excursion, Congrès conjoint AQQUA-CGRG, Montréal (22–27 août 2000).

Globensky, Y.
1982: Région de Lachute; ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction générale de l'exploration géologique et minérale, Service des levés géologiques, Rapport géologique n° 200.
1987: Géologie des Basses-Terres du Saint-Laurent; gouvernement du Québec, Direction générale de l'exploration géologique et minérale, Direction de la recherche géologique, Service de la géologie, MM 85-02.

Richard, S.H.
1982: Surficial geology, Vaudreuil, Québec–Ontario; Geological Survey of Canada, Map 1488A, scale 1:50 000.
1984: Surficial geology, Lachute–Arundel, Québec–Ontario; Geological Survey of Canada, Map 1577A, scale 1:100 000.

Rocher, M., Salad Hersi, O., Tremblay, A. et Lavoie, D.
2000: Carte géologique des Basses-terres du Saint-Laurent au NW de Montréal (Québec); *in* The St. Lawrence Platform, Humber Zone and Quaternary Successions Along Transect #1 Montréal—Appalachians Guidebook / La Plate-forme du Saint-Laurent, la Zone de Humber et les Successions Quaternaires le Long du Transect #1 Montréal — Appalaches, Livret Guide d'excursion.

Savard, M.M, Nastev, M., Lefebvre, R., Martel, R., Fagnan, N., Bourque, E., Cloutier, V., Lauzière, K., Gélinas, P., Kirkwood, D., Lapcevic, P., Karanta, G., Hamel, A., Bolduc, A., Ross, M., Parent, M., Lemieux, L.M., Boisvert, E., Salad Hersi, O., Lavoie, D., Girard, F., Novakowski, K., Therrien, R., Étienne, M., and Fortier, R.
2000: Regional hydrogeology of fractured rock aquifers in Southwestern Quebec (St. Lawrence Lowlands); 53e Conférence canadienne de géotechnique, 15–18 octobre, Montréal.

Projet 980011 de la Commission géologique du Canada